

高放射線環境下における重量物ハンドリング位置決め精度の向上

水谷 文俊^{†1} 中野 琢朗^{†1} 出宮 健彦^{†1} 前田 一尚^{†1}

概要: 高放射線環境下で重量物をハンドリングする際、高度な位置決め精度が必要となる場合があるが利用可能なセンサが限られる。今回は、俯瞰カメラからの画像情報と既知の構造物の配置関係を用いて、実際の線量率の高い現場で想定される 4t 程度重量物のピックアンドプレースの位置決め精度を画像処理によって改善した試みを紹介する。

キーワード:

Improvement of positioning accuracy in heavy duty handling under a high radiation environment

FUMITOSHI MIZUTANI^{†1} TAKURO NAKANO^{†1}
TAKEHIKO DEMIYA^{†1} KAZUNAO MAEDA^{†1}

Abstract: In heavy duty handling under a high radiation environment sometimes require precise positioning, but limited sensor is available. This report introduces research on improvement of positioning accuracy using image processing using live image from bird-eye camera and known information of building structure for actual nuclear environment work.

Keywords:

1. はじめに

高放射線環境下で遠隔作業が必要な原子力災害対応ロボット等は、重量物をハンドリングする際、高度な位置決め精度が必要となる場合があるが利用可能なセンサが限られることが知られている[1]。例えば、高精度マニピュレータのモータ制御に近年よく使われている光学式エンコーダは利用できない。そのため、アナログ式レゾルバで代用するが繰り返し位置決め精度ははるかに劣る。また、重量物を把持した場合、マニピュレータにもたわみが生じるなどの影響で手先での位置決め精度が低下する。

今回は、実際の線量率の高い現場で想定される大型マニピュレータによる 4t 程度の重量物のピックアンドプレースを想定して、俯瞰カメラからの画像情報と作業対象の寸法等の既知情報を組み合わせることで、マニピュレータが重量物接近時には直接撮影することができない手先の把持爪と把持穴の位置関係を推測し、相対位置ずれ情報をフィードバックすることで、目標の並進誤差 $\pm 2\text{mm}$ 、姿勢誤差 $\pm 0.8^\circ$ の位置決め精度実現を試みた。

2. 想定環境と課題

本研究は、線量率 250Gy/h、累積線量 1MGy の高放射線環境での 7 軸マニピュレータによる 4t 程度の重量物のピックアンドプレース作業を想定した。重量物は壁面に設置

されているものとし、表面に格子状に既知のサイズのタイルが配置されているとする。重量物中央付近には、把持穴があり、マニピュレータの手先に装備されている把持爪を把持穴に挿入することで、重量物を把持する。このような条件下では、重量物を把持した際、姿勢によりマニピュレータのたわみ量が異なり、通常のモータ PID 制御だけでは、高精度な手先位置決めは困難となる。また、把持していない状況においても、高放射線環境用のアナログ式レゾルバによるフィードバックで、大型マニピュレータを高精度に手先位置決めするのは容易でない。

3. 俯瞰カメラを用いた相対位置ずれ補正

3.1 利用するカメラ

1MGy 以上の耐放性能を持つ高放射線環境用カメラがある[2][3]。これらのカメラは、モノクロ撮像管タイプであり、全長 220mm 以上あるものが多く、大型マニピュレータとはいえ、手先に装備するには適さない。解像度も 640x480 程度しかない。しかしながら、利用可能なセンサが限られる環境条件であるため、上記の耐放性カメラを俯瞰カメラとして用い手先位置と把持穴の相対位置ずれ補正を行う手法を検討した。

3.2 相対位置ずれ補正

重量物を把持するとき及び重量物を壁面に設置するときの 2 種類の動作において、相対位置ずれ補正を行い位置決め

^{†1} 東芝エネルギーシステムズ株式会社
TOSHIBA Energy Systems & Solutions Corporation

精度の向上を図る。図 1 は重量物を把持する状況を表している。図 2 は図 1 を正面から見た場合の図であり、ターゲットの重量物の周りには同じような重量物が壁面に設置されている様子を表している。点 A がマニピュレータの手先中心であり、重量物上にある点 E と位置合わせを行う。点 C は俯瞰カメラの位置を示しており、色付けしたエリアがカメラの視野である。この場合、点 A が点 E に接近すると点 C からは点 E が死角になり、直接画角に収めることができなくなる。そこで、今回はマニピュレータの手先隅にマーキングした特徴点 B とターゲットの重量物と隣接する重量物の表面タイルの格子模様を特徴点 D として、この 2 点を俯瞰カメラの画角に収め、2 点それぞれに対して PnP(Perspective-n-Point)問題を解くことで点 B と点 D の位置姿勢を求める。既知の位置関係 $A \rightarrow B$ 及び $D \rightarrow E$ を利用すると、求めたい $A \rightarrow E$ のずれ補正量は、 $A \rightarrow E = A \rightarrow B + B \rightarrow C + C \rightarrow D + D \rightarrow E$ の 6 次元座標変換を行うことで求めることができる。また、重量物を設置する場合においても点 B と点 D を画角に収めることで、同様の処理を用いてずれ補正量を検出可能である。

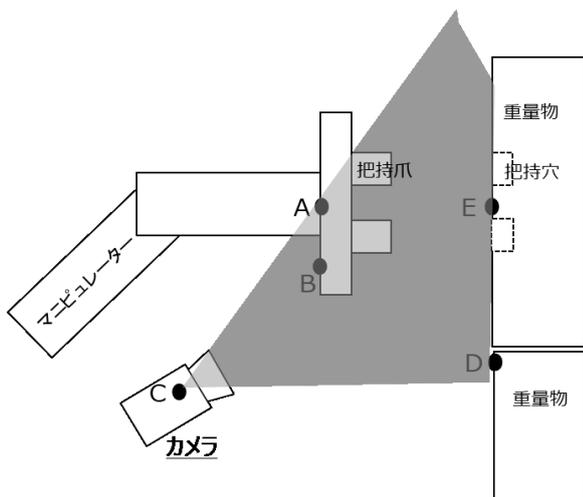


図 1 重量物を把持する図 (横)

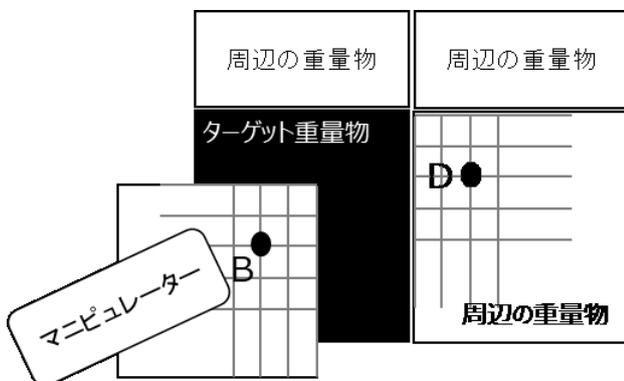


図 2 重量物を把持する図 (正面)

4. 実験

4.1 実験機材

提案手法の精度確認を行うにあたり、目標精度を並進誤差 $\pm 2\text{mm}$ 、姿勢誤差 $\pm 0.8^\circ$ の位置決めと定め、以下の実験機材にて実施した。実験用マニピュレータは 7 軸レゾルバタイプで以下の表 1 と図 3 に示す仕様及び座標系を設定して用いた。

表 1 実験用マニピュレータ

軸数	7
可搬重量	10kg
エンコーダ (モータ軸直結)	レゾルバ

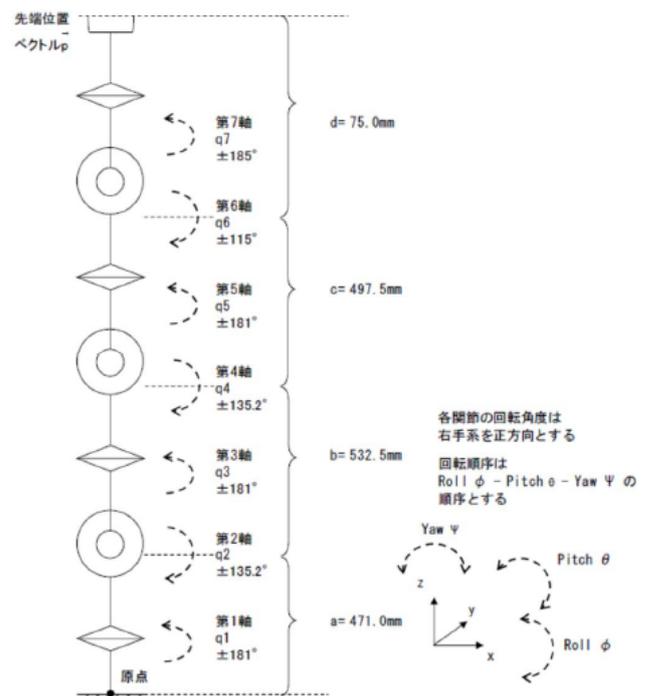


図 3 実験用マニピュレータの各軸動作範囲及び座標系

実験用カメラには、以下の表 2 に示す仕様の小型 USB カメラを一般的な高放射線環境用耐放射性カメラの解像度である 640×480 に設定して利用した。

表 2 実験用カメラ

最大解像度	1600x1200(ただし、640x480 に設定して利用)
画角	対角 56°
画素数	200 万画素
受像素子	1/5 インチ CMOS

重量物表面の格子状の模擬体は以下の表 3 と表 4 に示すパネルを作成し、把持及び設置のそれぞれの確認用途に合わせて利用した。格子はそれぞれ 2 セットずつ四隅に配置し、位置合わせを行う点とのずれ量を事前計測し保存した。

以下の図 4 に把持爪挿入模擬ターゲットと重量物設置模擬ターゲットに配置した格子状パネルを示す。

表 3 把持爪挿入模擬ターゲットパネル

模擬把持穴	Φ 32mm 2 個	
特徴点	格子サイズ (mm)	20x18, 16x16, 16x12, 14x13
	マス数	縦 5 マス横 5 マスの 25 マス

表 4 重量物設置模擬ターゲットパネル

設置用スペース	内寸 240mm, 241mm	
特徴点	格子サイズ (mm)	20x18, 16x16, 16x12, 14x13
	マス数	縦 5 マス横 5 マスの 25 マス

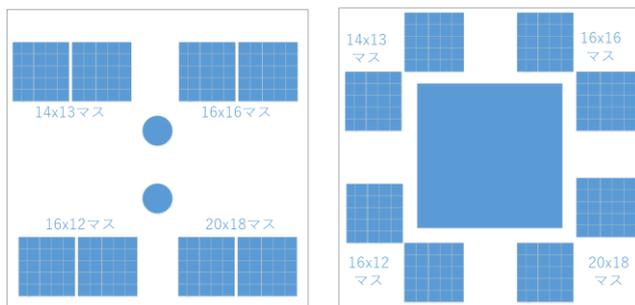


図 4 ターゲットパネル格子配置 (左) 挿入 (右) 設置

マニピュレータの手先は把持及び設置確認で共有可能な表 5 に示すパネルを作成し利用した。特徴点には、縦 6 マス横 5 マスのチェスボード模様を 2 セット配置し、位置合わせを行う点とのずれ量を事前計測し保存した。

表 5 実験用手先パネル

模擬把持爪	Φ 30mm 2 本	
ボードサイズ	240mm 角	
特徴点	格子サイズ (mm)	15x15
	マス数	縦 6 マス横 5 マス

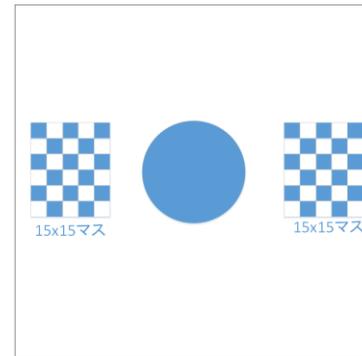


図 5 手先パネルの格子配置

本実験では、俯瞰カメラに見立てた USB カメラからの出力を画像処理 PC に入力し相対位置ずれ量を検出した。そして、マニピュレータの必要制御量に変換し、制御用 PC に TCP/IP 通信にて通知させた。マニピュレータの補正位置への移動は、必要制御量を受信した制御 PC が、モーションコントローラ経由で制御を行った。相対位置ずれ量の検出に必要な PnP 問題の演算には、Open CV[4]を利用した。以下の図 6 及び図 7 に実験用システム構成を示す。

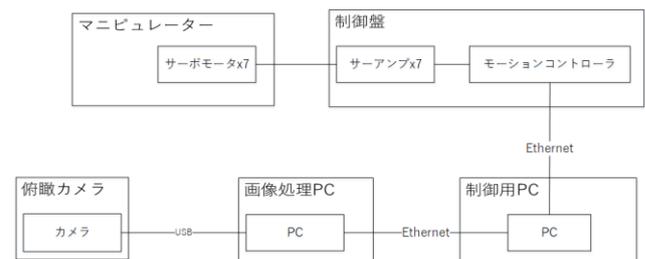


図 6 実験用 HW システム構成

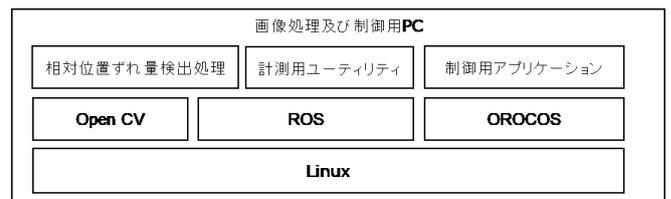


図 7 画像処理及び制御用 PC ソフトウェアブロック図

以下の図 8 に実験風景を示す。

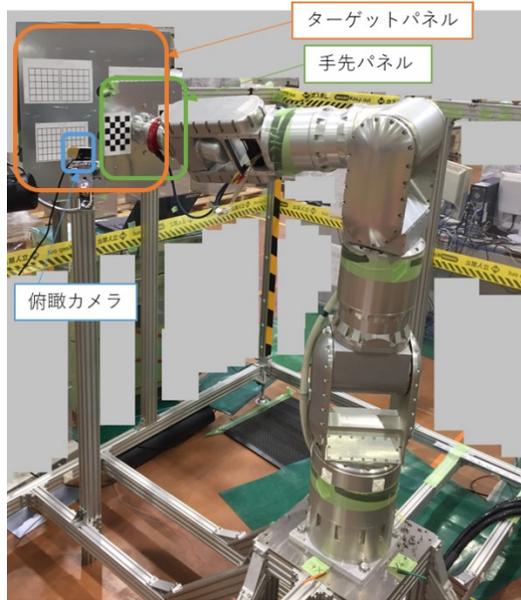


図 8 実験風景

4.2 相対位置ずれ補正実装

本手法では、25mm 手前まで、ターゲットと正対させる相対位置決め補正を行い、その後は Z 軸直進動作にてターゲットへの把持爪の挿入及び設置を行うように実装した。補正処理は、200mm 手前から処理を開始し、相対位置ずれ補正後、次の補正位置（100mm, 50mm, 25mm 手前）まで前進しながら、各補正位置で補正処理を行った。ターゲットへの距離が近くなるほど、許容ずれ量が厳しくなるよう設定し、許容値に収まるまで補正を繰り返した。以下の図 9 に補正位置と許容ずれ量の変化を示す。

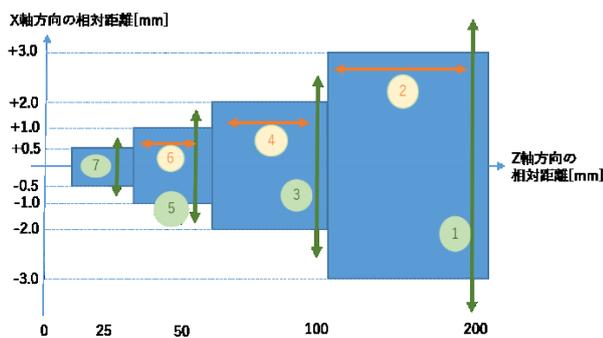


図 9 補正位置と許容ずれ量

1.	ターゲットとの距離が 200[mm]以内における許容範囲に収まるまで、位置調整(*1)を繰り返す。
2.	ターゲットとの距離が 100[mm]となるように、接近(z 軸の直進移動)する。
3.	ターゲットとの距離が 100[mm]以内における許容範囲に収まるまで、位置調整(*1)を繰り返す。
4.	ターゲットとの距離が 50[mm]となるように、接近(z 軸の直進移動)する。
5.	ターゲットとの距離が 50[mm]以内における許容範囲に収

	まるまで、位置調整(*1)を繰り返す。
6.	ターゲットとの距離が 25[mm]となるように、接近(z 軸の直進移動)する。
7.	ターゲットとの距離が 25[mm]以内における許容範囲に収まるまで、位置調整(*1)を繰り返す。

*1) 姿勢(R,P,Y)を合わせるように移動後、位置(x,y)を合わせるように移動させる。

4.3 試験結果

本試験は、20x18, 16x16, 16x12, 14x13 の格子サイズのターゲットパネルに対して各 5 回相対位置ずれ補正処理を行った。初期手先位置は、並進誤差±50mm,姿勢誤差 ±3° 程度の範囲でランダムに位置決めした。カメラは、最終位置決め開始位置(50mm 手前)でターゲット及びマニピュレータとの距離が概ね 500mm 程度の位置に収まるように配置した。(画素分解能 0.50mm/pixel 目安)以下の図 10 と図 11 にカメラ、ターゲット、マニピュレータの位置関係の一例を示す。相対位置ずれ量は、図中の赤い点、ターゲット及びマニピュレータの 2 個の把持穴及び 2 本の把持爪の中心点で計測した。

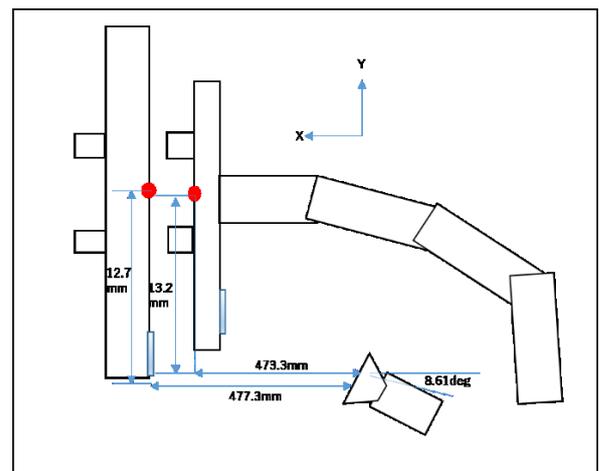


図 10 カメラ、ターゲット、マニピュレータの位置関係の一例 (横からの図)

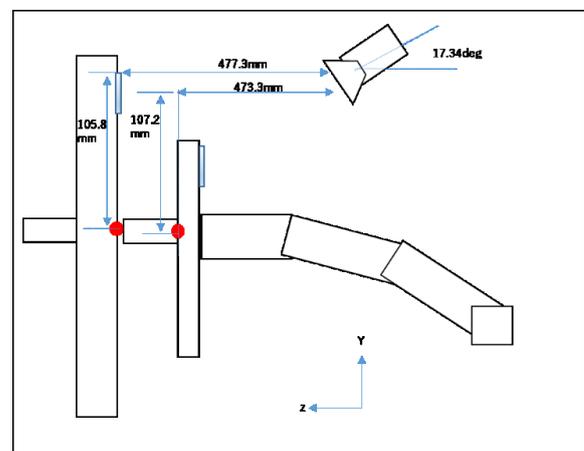


図 11 カメラ、ターゲット、マニピュレータの位置関係

の一例（上からの図）

以下の図 12 と図 13 に挿入時の最終位置決め位置での平均位置ずれ誤差量と分散を示す。Z 軸方向については最大 9mm 程度の誤差が生じる場合があったが、挿入作業の障害とはならなかった。X 軸と Y 軸方向のずれ量は、16x12 のとき、目標精度の±2mm を上回る誤差が発生した。その他の格子サイズについては、目標精度内に収まった。姿勢ずれについては、Roll 方向と Yaw 方向については、目標精度 ±0.8° に対して概ね目標内のずれに収まったが、Pitch 方向の検出について、16x12 において、4° 以上ずれる場合が発生した。

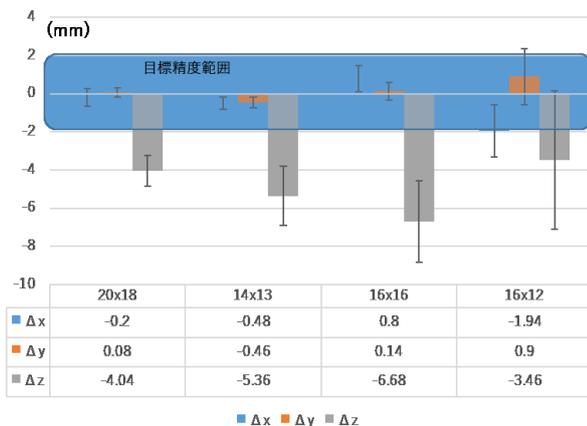


図 12 挿入時の平均位置ずれ誤差量と分散

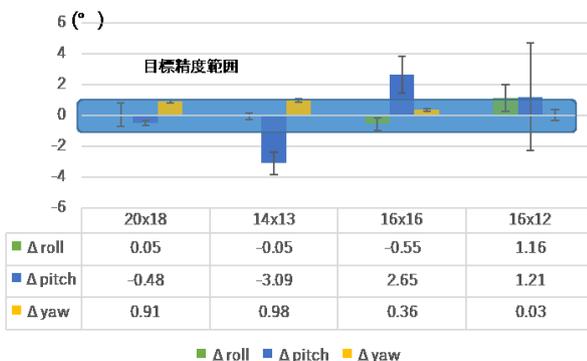


図 13 挿入時の平均姿勢ずれ誤差量と分散

以下の図 14 と図 15 に設置動作の時の平均位置ずれ誤差量と分散を示す。Z 軸については、大きなずれが観測されたが、挿入時と同じく、設置作業の妨げとはならなかった。X 軸と Y 軸方向については、全ての格子サイズにおいて、目標精度内に収まった。姿勢ずれについては、16x12 の格子サイズでは、姿勢 3 方向全て目標精度に収まらない場合があった。Pitch 方向については、その他の場合においても目標精度内に収まらない場合があった。

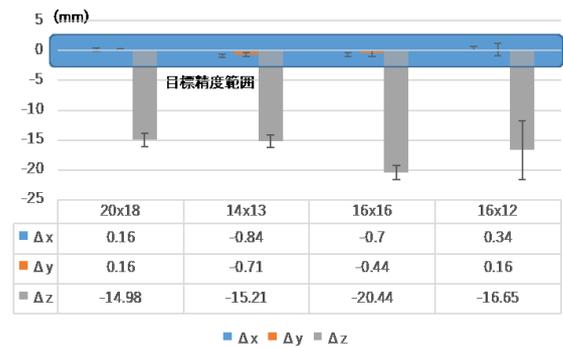


図 14 設置時の平均位置ずれ誤差量と分散

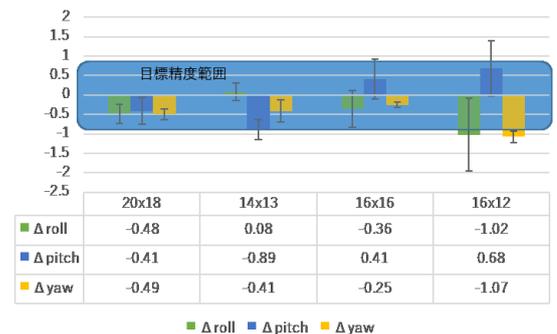


図 15 設置時の平均姿勢ずれ誤差量と分散

5. おわりに

高放射線環境下で利用可能な耐放射性カメラを想定した相対位置決め精度向上手法の基本確認を行った。640x480 程度の解像度の画像においても、0.50(mm/pixel)程度の画素分解能があれば、精度向上が期待できること確認できた。今後は、撮像管カメラのレンズ歪み補正や実現場に近いターゲットを用いた改善に取り組んでいく。本成果は、原子力災害のみならず、核分裂/核融合炉等の原子力施設[5],[6]においても活用可能と考える。

参考文献

- [1] 大西献, 大西典子, 藤田淳, 原浩二, 橋本達矢. 原子力災害対応ロボットの設計と開発. 日本ロボット学会誌. 2014, vol. 32, no. 9, p. 816-824.
- [2] “高耐放射線性カメラシステム R93 Mk3 camera “. https://www.cornestech.co.jp/tech/products/products_r93_mk3/, (参照 2018-09-26).
- [3] “ディアコント 耐放射性カメラ S T S -40M カメラシステム”. <http://www.mils-sys.co.jp/>, (参照 2018-09-26).
- [4] “opencv v2.1 documentation カメラキャリブレーションと 3次元再構成”. http://opencv.jp/opencv-2.1/cpp/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html, (参照 2018-09-26).
- [5] “国際熱核融合実験炉 ITER”. <https://www.iter.org/>, (参照 2018-09-20).
- [6] 重松宗一郎, 松蔭武士, 島村光明. ITER ブランケット遠隔保守装置技術. 東芝レビュー. 2016, vol. 71, no. 1, p. 16-19.

(注)本論文に掲載の商品の名称は、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。